

BILDKONTRAST BEI VERSCHIEDENEN
KASSETTEN-FOLIEN-FILM-KOMBINATIONEN

HANS-JOACHIM SCHÜTZ

1984

*Diss.
München
1985*



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554812_0007

**Aus der Abteilung für zahnärztliche Röntgenologie
(Leiter: Prof.Dr.Dr.H.Grasser)
der Klinik für
Zahn-,Mund- und Kieferkrankheiten
(Geschäftsführender Direktor: Prof.Dr.E.Sonnabend)
der Universität München**

Bildkontrast bei verschiedenen Kassetten-Folien-Film-Kombinationen

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München**

vorgelegt von

Hans-Joachim Schlütz

aus

Leipzig

1984

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin
der Universität München

Berichtersteller: : Prof.Dr.Dr.H.GRASSER

Dekan : Prof.Dr.W.SPANN

Tag der mündlichen Prüfung: 12.3.1985

Meinen Eltern gewidmet

1. Einleitung und Problemstellung	6
2. Literaturübersicht	8
2.1. Filmkassetten	8
2.2. Verstärkerfolien	9
2.3. Röntgenfilme	10
2.4. Bedeutung der Spannung (kV-Zahl) für die Filmschwärzung	11
2.5. Signal-Rausch-Verhältnis	12
3. Material und Methode	15
3.1. Röntgengerät Orthopantomograph Cranex dc 2	15
3.2. Phantommodell-Röntgenuntersuchungen	15
3.3. Entwicklung und Fixierung der Röntgenfilme	17
3.4. Aluminium- und Kohlefaserkassetten	18
3.5. Verstärkerfolien Spezial, NPU, NPR, Quanta III, Quanta Detail und Rego Detail	19
3.6. Röntgenfilme Cronex 4, Cronex 7, Agfa RP 1 und Kodak X-omat	20
3.7. Ermittlung der Werte der optischen Dichten an verschiedenen Bildpunkten	21
3.8. Densitometrie mit dem Densitometer Macbeth 504	22
3.9. Kontrastermittlung	24
4. Ergebnisse	26
4.1. Eignung der verwendeten Apparate und Verfahren	26
4.2. Ermittelte Werte der optischen Dichten	26
4.3. Erzielte Kontrastwerte	31
5. Diskussion und Schlußfolgerungen	33
5.1. Bedeutung der Orthopantomographie unter dem Aspekt der er- zielbaren Bildkontraste	33
5.2. Aluminiumkassette-Kohlefaserkassette	34
5.3. Bedeutung der Verstärkerfolien aus Materialien der Gruppe der seltenen Erden	35
5.4. Vergleich der Filme hinsichtlich ihrer Kontrastfähigkeit	36
5.5. Bedeutung der optischen Dichte für den Bildkontrast	36
5.6. Varianten und Einfluß des Signal-Rausch-Verhältnisses auf die Bildqualität	37

5.7. Differenzierung der möglichen Fehlerquellen und deren Einfluß auf die Meßergebnisse	38
5.8. Günstige, durchschnittliche und unwendbare Kassetten-Folien- Film-Kombinationen bezüglich Helligkeit und Bildkontrast	39
5.9. Ausblick auf weitere notwendige Forschungsverfahren	39
6. Zusammenfassung	41
Literaturverzeichnis	44

1. Einleitung und Problemstellung

Das Ziel jeder Röntgenaufnahme ist eine optimale Bildqualität bei möglichst geringer Strahlenbelastung für den Patienten, den Röntgenologen und dessen Personal.

Unter optimaler Bildqualität versteht man ein Röntgenbild, das bei diagnostisch verwertbarer Helligkeit einen größtmöglichen Kontrast bietet. Neben der Spannung, die an die Röhre angelegt wird, sind es die Belichtungszeit, die Wahl von Entwicklung und Fixierung des Films die Kombination von Filmkassette-Verstärkerfolien und Röntgenfilm, die über die Helligkeit und den Bildkontrast entscheiden.

Bei der Orthopantomographie ist die Belichtungsdauer durch die Umlaufzeit des Röntgengerätes meist vorgegeben, eine Variation dieses Parameters also weder möglich noch sinnvoll. Apparativ ist üblicherweise nur die Hochspannung in kV-Zahl-Schritten variabel, die Stromstärke des Gerätes ist häufig nicht oder nur in zwei Möglichkeiten veränderbar.

Als sinnvoll ist es daher anzusehen - bei genormter und als gut erwiesener Entwicklungs- und Fixiertechnik des Films - die Kassetten-Folien-Film-Kombination so zu wählen, daß die Belichtungs- und damit Expositionszeit des Patienten möglichst kurz zu halten ist und trotzdem ein gutes Röntgenbild herzustellen.

Die einzige Möglichkeit, unter vergleichbaren Bedingungen zu testen ist, mittels eines Phantoms des menschlichen Schädels bei identischem Entwickel- und Fixierverfahren bei gleicher Stromstärke und gleicher kV-Zahl die Möglichkeiten einer Kombination der einzelnen zu untersuchenden Kassetten, Verstärkerfolien und Röntgenfilme zu prüfen.

Aus Gründen der Strahlenbelastung sind derartige Tests am Patienten nicht möglich, ein Schädelphantom ist deshalb optimal, weil es alle Detailmöglichkeiten eines Patientenbildes beinhaltet und alle interessierenden anatomischen Regionen zu sehen sind.

Durch densitometrische Messungen können Schwärzungsgrade an verschiedenen Bildpunkten eines Röntgenfilms festgestellt werden. Die mathematische Korrelation solcher Dichte-Werte ergibt einen Überblick über den Kontrast eines Röntgenbildes.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, festzustellen, welche Kassetten-Folien-Film-Kombinationen bei einem festen Hochspannungswert an der Röntgenröhre, immer gleichen Stromstärken und gleicher Umlaufdauer bei identischer Filmentwicklung und Bildfixierung optimale beziehungsweise ungenügende Orthopantomogramme bieten.

2. Literaturübersicht

Da die dargestellte Problematik besonders in den vergangenen zehn Jahren wissenschaftlich getestet, erarbeitet und publiziert wurde, wurden überwiegend Veröffentlichungen und Buchbeiträge dieses Zeitraums zur Literaturübersicht herangezogen und gewürdigt.

2.1. Filmkassetten

Kassetten dienen zur Aufnahme von Verstärkerfolien und Röntgenfilmen. Sie haben die Funktion, während der Belichtung Film und Folien gleichmäßig und fest anzupressen und den eingelegten Film vor Tageslicht zu schützen. Durch ein Scharnier sind die Kassetten aufklappbar. Die fokusnahe Vorderplatte besteht aus Aluminium, Kohlefaser oder Kunststoff (12), also Materialien, die strahlendurchlässig sind.

Um der Kassette eine möglichst hohe Festigkeit zu verleihen, ist die fokusferne Rückseite meist aus Stahlblech. Gleichzeitig wird dadurch eine Rückstreuung der Röntgenstrahlen vermieden. Gelegentlich ist zu diesem Zweck auch eine dünne Bleifolie eingelegt.

Der gleichmäßige Anpreßdruck der Verstärkerfolien wird durch eine Filzplatte oder Schaumgummieinlage erreicht. Um optimale Bildqualität bezüglich Helligkeit, Kontrast und Homogenität des Bildes zu erreichen, ist eine sorgsame und vorsichtige Behandlung der Kassetten unumgänglich. Derbes Anstoßen und Übereinanderstapeln von Kassetten ist zu vermeiden, sie sollten aufrecht, nebeneinander gestellt aufbewahrt werden.

JORDAN (12) veröffentlichte Ende 1980 eine Studie über die Bedeutung gepreßter Kohlefaser als Material für die fokusnahe Seite der Kassetten. Dabei stellte er fest, daß bei Verwendung dieses Materials die Strahlenbelastung für den Patienten zwischen 12 und 50 % vermindert werden konnte, als bei Röntgenaufnahmen mit herkömmlichen Aluminiumkassetten. Er konnte weiter zeigen, daß das Kohlefaser-Material

besser den mechanischen Beanspruchungen beim Röntgenbetrieb gerecht wurde als Aluminium- oder Kunststoffkassetten.

2.2. Verstärkerfolien

Die historische Entwicklung der Leuchtsubstanzen und deren Anwendung in der Röntgentechnik beschrieb 1983 DEGENHARDT (6). Die erste Leuchtsubstanz wurde von einem italienischen Alchimisten im 17. Jahrhundert zufällig beim Experimentieren entdeckt. Erst in der Mitte des 19. Jahrhunderts erfolgten die ersten technischen Anwendungen, und ein Leuchtschirm führte 1895 zur Entdeckung der Röntgenstrahlen. Weitere Entwicklungen neuer Leuchtsubstanzen in den letzten Jahren brachten für die Röntgentechnik wesentliche Verbesserungen. Kalziumwolframat konnte sich Jahrzehnte als Material für Verstärkerfolien-Leuchtsubstanzen behaupten. 1973 wurde Bariumstrontiumsulfat als Leuchtstoff beschrieben, konnte sich aber nicht durchsetzen, weil die Seltenerdenmetalle günstige Parameter hatten und etwa gleichzeitig erste Untersuchungsergebnisse mit ihnen publiziert wurden (6). Nach der Entwicklung der Verstärkerfolien mit Seltenerdenelementen als Leuchtstoff wurden Tests über den Einfluß dieser Verbindungen auf den erzielbaren Bildkontrast (2) durchgeführt. Festgestellt wurde dabei, daß Seltenerdverstärkerfolien mit 2-Farben-Leuchtstoffen, die Licht im blauen und grünen Spektralbereich abstrahlten zu hoher Bildschärfe und geringem Spannungsgang führten (4,5). Als Röntgenleuchtstoff bewährte sich besonders Yttriumoxisulfat (4,5,6). Gegenüber den konventionellen Folientypen aus Kalziumwolframat wird der Dosisbedarf je nach Folientyp um den Faktor 2 bis 8 verringert.

Ebenfalls DEGENHARDT (4) analysierte die Kristallnatur der Leuchtstoffe. Er stellte fest, daß nur zwei Leuchtstoffe zur kubischen Kristallklasse gehören, nämlich Yttriumoxisulfat und Gadoliniumoxisulfat. Sie zeigen elektronenmikroskopisch eine möglichst dichte Kristallpackung, die der Kugelform sehr nahe kommt (4).

Als weiterer Vorteil dieser Kristalle ist anzusehen, daß sie optisch isotop sind, daß heißt, ihr Brechungsquotient ist nach allen Richtungen gleich.

Auch FREYENSCHMIDT (7) führte 1980/81 experimentelle Vergleichsuntersuchungen zwischen verschiedenen Verstärkerfolien durch. Dabei kam er zum Ergebnis, daß die Folien aus der Gruppe der seltenen Erden gegenüber solchen aus Kalziumwolframat einen echten Fortschritt darstellen und den diagnostischen Leitsatz " Darstellung diagnosewichtiger Details bei möglichst geringer Strahlendosis " optimal erfüllen. Er empfahl, zur Erreichung einer weiteren Bildverbesserung, die Kombination von hochverstärkenden Seltene-Erden-Folien mit neuartigen den Cross-over-Effekt unterdrückenden Röntgenfilmen, wodurch eine weitere Dosisreduzierung für den Patienten, den Röntgenologen und sein Personal möglich ist.

Auch Untersuchungen von HAGEMANN e.a. (9) und KRAFT e.a. (15) bestätigten die Ergebnisse der anderen Veröffentlichungen dahingehend, daß moderne neue Stoffgruppen aus der Gruppe der seltenen Erden als Verstärker - Leuchtsubstanzen besser als frühere Leuchtstoffe geeignet und im Röntgenbetrieb eingesetzt werden sollten.

2.3. Röntgenfilme

Früher diente Zellulose als Filmbasis. Als Schichtträger für Röntgenfilme wird heute Polyester in einer Stärke von 0,2 Millimeter verwendet. Er ist transparent und häufig mit einem blauen Farbstoff eingefärbt. Auf diesem Schichtträgermaterial wird beidseits eine aus Gelatine und Kunststoff bestehende sehr dünne Haftschrift aufgetragen, die die Haftung der lichtempfindlichen Emulsion auf dem Trägermaterial ermöglicht. Diese Emulsionsschichten enthalten das Silberhalogenid, das in Gelatine eingebettet ist. Es liegt in kristalliner Form vor, die Ionenbildung zeigt.

Das Silberatom hat auf seiner äußersten Schale nur ein einziges Elektron, das es leicht abgibt, während das Bromatom in der äußersten Schale sieben besitzt und

ein Elektron zur Stabilisierung jederzeit aufnimmt. Der energiereiche Röntgenstrahl kann dem Bromion ein Elektron entziehen und damit das Silberbromid-Molekül in seine ursprünglichen atomaren Bestandteile zerlegen, zumal das Silberion sein an das Bromion verlorenes Elektron so zurückerhalten kann. Bei dieser durch den Röntgenstrahl verursachten Abspaltung von Brom werden kleinste Mengen metallischen Silbers frei, die erst durch den Entwicklungsvorgang als sogenannte Schwärzung sichtbar werden. Die durch die Röntgenstrahlung bewirkten und vor der Entwicklung unsichtbaren chemischen Veränderungen in der nur etwa 0,2 Millimeter dicken Emulsionsschicht des Films werden als "latentes Bild" bezeichnet (17).

Die Verwendung von Röntgenfilmen, die in Kombination mit Verstärkerfolien und Kassetten stehen, bedarf immer einer Abstimmung innerhalb des Systems. DEGEN-HARDT e.a. (3) und FREYENSCHMIDT (7) prüften Film-Folien-Systeme unter dem Aspekt der Dosisersparung. Sie kamen zum Ergebnis, daß der Wahl der Verstärkerfolien die größere Bedeutung zukommt, da am prinzipiellen Aufbau des Röntgenfilms keine gravierenden Veränderungen vorgenommen werden können, während durch die Einführung neuer Leuchtsubstanzen in den Verstärkerfolien ein vergleichsweise größerer Gewinn bei der Dosisreduzierung möglich ist. (3, 7).

2.4. Bedeutung der Spannung (kV-Zahl) für die Filmschwärzung

Die Erhöhung der Spannung (kV) führt zu energiereicheren, kurzwelligeren und damit durchdringungsfähigeren Röntgenphotonen. Die richtige Wahl der kV-Zahl ist von der Dicke des darzustellenden Objektes abhängig. Sie entscheidet dabei unter anderem Faktoren mit über die Bildhelligkeit und den Bildkontrast (17). Unter Versuchsbedingungen, bei denen andere Parameter wie Belichtungszeit, Stromstärke, verwendetes Filmmaterial, Entwicklung und Fixierung identisch sind, gilt der Grundsatz, daß die Filmschwärzung um so intensiver wird, je höher der Spannungswert gewählt wird.

Mit einer möglichen Verminderung der Spannung geht automatisch eine Dosisverminderung einher, obwohl diese Verminderungsmöglichkeit indirekt durch günstige Kassetten-Verstärkerfolien-Röntgenfilm-Kombinationen zu verwirklichen ist (3,7,12).

2.5. Signal-Rausch-Verhältnis

Das sogenannte Rauschen bei der Anfertigung von Röntgenbildern stellt in jedem Fall einen Störfaktor dar, der die Bildqualität vermindert (14,16,22,23). Man nimmt diese Beeinträchtigung aber in Kauf, um die Strahlenbelastung für den Patienten und das röntgenologisch tätige Personal so gering wie möglich zu halten, denn eine Dosisersparnis geht immer mit einer Verminderung der Bildqualität einher. Das Rauschen bei der Anfertigung von Röntgenbildern geht mit folgenden Einzelvarianten einher :

Filmrauschen

Folienrauschen

Quantenrauschen

Während das Quantenrauschen bei der Entstehung der Röntgenstrahlung kaum zu beeinflussen ist, kann durch technische und materialtechnische Manipulationen die Rauschsituation durch Folien und Kassetten möglichst optimal eingestellt und abgestimmt werden.

Das Rauschen insgesamt wird durch das Wiener-Spektrum charakterisiert. KUHN (16) zeigte 1983, welche Bedeutung den einzelnen Rauschkomponenten zukommt. Er zeigte aber auch auf, daß bei allem Interesse an der Reduktion des störenden Rauschens andere Parameter, die bei der Bildentstehung von Bedeutung sind, wie beispielsweise die Auflösung nicht vergessen oder vernachlässigt werden dürfen. Er geht in seiner Publikation besonders auf die Bedeutung der Verstärkerfolien mit Leuchtstoffen aus der Gruppe der seltenen Erden ein und beschreibt die Zunahme

des störenden Rauschens bei Röntgenaufnahmen mit verschiedenen Folien-Film-Kombinationen. Die Studie zeigte weiter, daß dem Quantenrauschen bei hochempfindlichen Systemen, die bei Kombination von Kassetten mit Röntgenfilmen und hochverstärkenden Filmen entstehen, zunehmende Bedeutung zukommt (16). Bei einer optimalen Abstimmung der Abbildungseigenschaften des Film-Folien-Systems ist es erforderlich, auch die anderen Bildgüte-Einflüsse wie Kontrast- und Übertragungsfunktion des Systems zu berücksichtigen. Ebenso muß die Körnigkeit des Röntgenfilms berücksichtigt werden.

Quintessenz der Veröffentlichung von KUHN (16) war, daß es nicht sinnvoll ist, das Rauschen um jeden Preis, das heißt durch ungünstige Parameterwerte der Kontrast- und Übertragungsfunktion und der Filmkörnigkeit - und damit durch eine größere Bildschärfe - zu reduzieren (16).

Als Resümee der Untersuchung kann die Erkenntnis oder Bestätigung der Tatsache gesehen werden, daß das Rauschen von Kassetten-Verstärkerfolien-Röntgenfilm-Kombinationen in komplexer Weise von verschiedenen Systemparametern abhängig ist.

Das Gesamtrauschen wird verringert durch:

- hohe Systemdosis (geringe Empfindlichkeit) also hohe Patientendosis
- hohe Quantenabsorption
- schlechte Übertragungsfunktion
- geringen Filmgradienten
- geringe Folienstruktur
- geringe Filmkörnigkeit

Die Herabminderung des Rauschens durch ungünstige Folien-Film-Kombinationen hat wegen des Miteinflusses anderer Parameter keine bessere, sondern eine schlechtere Bildqualität zu Folge. Für die optimale Abstimmung ist deshalb die Berücksichtigung aller Parameter wichtig, um eine akzeptable Bildhelligkeit und guten Bildkontrast zu erzielen (16).

1981 wurden von KNEDEL e.a. (14) Untersuchungen über das Signal-Rausch-Verhältnis, die Auflösung und den Dosisbedarf bei Verwendung moderner Verstärkerfolien durchgeführt. Sie prüften 28 Folien-Film-Systeme an einem eigens entwickelten Prüfphantom und kamen zum Ergebnis, daß stets organbezogen die Kombination vorgenommen werden muß (14).

3. Material und Methode

Erste Voruntersuchungen wurden im Oktober und November 1983 zur Testung des Densitometers vorgenommen.

Die Hauptversuche erfolgten nach vorausgegangenem Literaturstudium im August und September 1984 in der Abteilung für zahnärztliche Röntgenologie (Leiter: Prof.Dr.Dr.GRASSER) der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten und bei der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltschutz GmbH, Neuherberg bei München.

3.1. Röntgengerät Orthopantomograph Cranex dc 2

Beim Testgerät handelte es sich um einen Orthopantomographen der finnischen Firma Soredex (Baujahr 1984). Die Bedienung der Funktionen erfolgte am Gerät selbst. Der Bedienungsaufwand war unkompliziert und gering. Die verwendeten Filmkassetten waren plan, das Filmformat betrug 15 x 30 cm. Der Platzbedarf des Gerätes machte etwa 1 m² aus. Die Filmbelichtungszeit erfolgte während 19 sec (pro Umlauf). Betrieben wurde die Röntgenapparatur mit einer Stehaden-Röntgenröhre, deren Brennfleck 0,6 x 0,6 mm groß war. An Zubehör kann an diesen Orthopantomographen ein Kephalomat angeschlossen werden.

3.2. Phantommodell-Röntgenuntersuchungen

Als Phantommodell wurde ein in Acrylharz eingebetteter menschlicher Schädel verwendet. Das Acrylharz imitierte die Weichteile des Kopfes. Die Wirbelsäule wurde durch einen Kunststoff-Quader mit analogen Strahlenabsorbtiionswerten ersetzt. Bei sämtlichen Röntgenaufnahmen hatte das Phantommodell die gleiche Position im Orthopantomographen.

Die Filme wurden unter stets gleichen Bedingungen belichtet (73 kV, 10 mA).

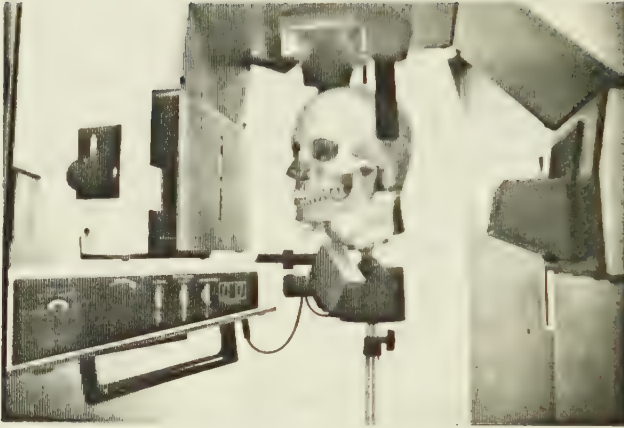


Abb. 1

Phantomkopf im Orthopantomograph

Kassetten - Folien - Film - Kombinationen

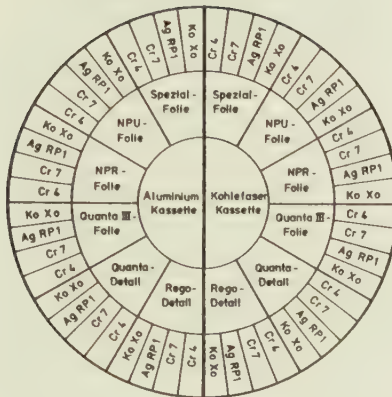
Kassettenart: Aluminium, Kohlefaser

Folienart: Spezial (S), NPU (U), NPR (R),
 Quanta III (Q), Quanta Detail (QD),
 Rego Detail (RD)

Filmmaterial: Cronex 4 (Cr4, C4), Cronex 7 (Cr7, C7)
 Agfa RP1 (Ag), Kodak X-omat (Ko)

Tab. 1

Im Test verwendete Kassetten-Folien und Filme (verwendete Ab-
kürzungen stehen in Klammern)



Kombinations - Varianten

Abb. 2

Schema der Kombinationen

Die verwendeten Kassetten, Verstärkerfolien und Röntgenfilme sind der Tabelle 1 zu entnehmen; die einzelnen Kombinationen der Abbildung 2. Die Abkürzungen gehen aus Tabelle 1 hervor. Die detaillierten Merkmale der Kassetten, Folien und Filme sind in Abschnitt 3.4., 3.5. und 3.6. beschrieben.

3.3. Entwicklung und Fixierung der Röntgenfilme

Alle angefertigten Filme wurden unter identischen Bedingungen bei gleicher Arbeitstemperatur mit einem Automaten entwickelt und fixiert. Dabei handelte es sich um ein Gerät der Firma Agfa Gevaert Modell 110 U (Baujahr 1984). Die Filmdurchlaufdauer betrug 90 sec., als Entwicklerflüssigkeit wurde die Substanz G 137, als Fixierbad die Lösung G 334 (beide Agfa Gevaert) verwendet.

3.4. Aluminium-und Kohlefaserkassetten

Röntgenfilmkassetten haben – gleichgültig aus welchem Material sie hergestellt sind – folgende Funktionen und Merkmale:

1. Verstärkerfolien-Fixierung
2. Filmeinlage
3. Belichtungsverhinderung

Beide Kassetten wurden von der Firma rego-Gollwitzer GmbH Augsburg zu den vorgenommenen Testzwecken zur Verfügung gestellt. Es handelte sich dabei um fabrikneue Produkte, um Störeinflüsse, die durch frühere Benutzung eingetreten sein konnten, im vorhinein zu verhindern.

Der Aluminiumkörper der zur einen Hälfte getesteten Kassetten bestand aus 1,3 mm gezogenem Aluminium, die Verschlussbelemente waren aus Stahl. Die Basis der Kohlefaserkassetten bestand aus einer Gießharzplatte, auf die die gepreßte Kohlefaser-schicht aufgebracht war. Auch bei diesem Kassettenmodell waren die Verschluss-elemente aus Stahl.



Abb. 3a

Aluminiumkassette mit eingelegter
Verstärkerfolie (aufgeklappt, In-
nenansicht)

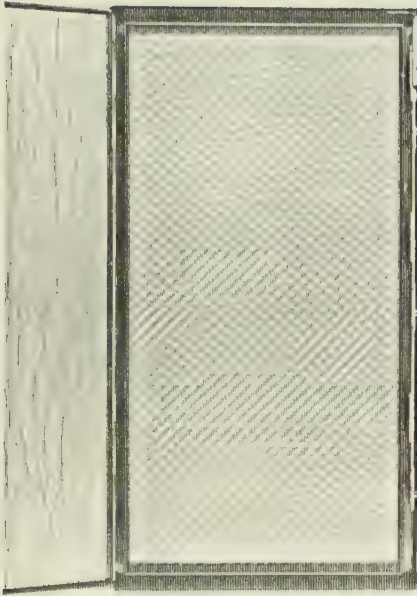


Abb. 3b

Kohlefaserkassette (deutlich
sichtbar die Oberflächenstruk-
tur; links die aufgeklebte Schaum-
gummifolie)

Beide Kassettentypen hatten gleiche Größe (15 x 30 cm).Sie waren beide mit Schaum-
stoff-Einlagen an den inneren Kontaktflächen zum Film beklebt, die bewirkten, daß der
Röntgenfilm stets der Verstärkerfolie exakt anlag.

3.5. Verstärkerfolien Spezial,NPU,NPR,Quanta III,Quanta Detail und Rego Detail

Röntgenfilm-Verstärkerfolien haben die Funktion, die Dosisbelastung für den Patien-
ten möglichst stark zu reduzieren. Dabei muß die Filmqualität einen höchstmöglichen
Kontrast bei optimaler Bildschwärzung aufweisen, was bedeutet, daß das Folienrau-
schen so gering wie möglich gehalten werden muß.

Die verwendeten Röntgenfilme hatten folgenden Merkmale:

1. Sie bewirkten alle die Dosisreduzierung über die Belichtungszeitverkürzung
2. Sie entwickelten alle eine Röntgenstrahlen-induzierte UV-und Blau-Lichtemission

Die Leuchtsubstanz der Detail- und Spezial-Verstärkerfolien besteht aus CaWO_4 , die der anderen getesteten Folien aus der Gruppe der seltene-Erden-Elemente. Äußerlich unterscheiden sich die Verstärkerfolien kaum in ihrem Glanzverhalten oder ihrer Farbtönung (weiß bis gelb).

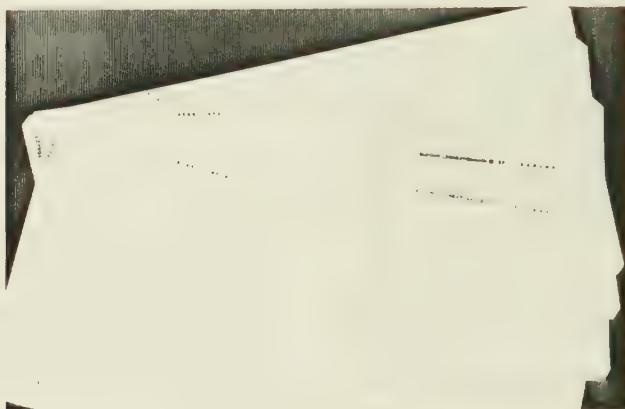


Abb.4

Oberflächenansicht der verwendeten sechs Röntgen-Verstärkerfolien (deutlich sichtbar ist, daß die einzelnen Folien sich kaum voneinander unterscheiden)

3.6. Röntgenfilme Cronex 4, Cronex 7, Agfa RP 1 und Kodak X-omat

Alle verwendeten Filme waren durch die Tatsache gekennzeichnet, daß sie im Blau- und UV-Lichtbereich empfindlich waren. Sie unterschieden sich aber in ihrer Empfindlichkeit und ihrem möglichen Kontrastverhalten. Die vier Filme waren für die Verarbeitung in automatischen Entwicklungsmaschinen geeignet; sie lassen sich aber auch manuell in Dunkelkammer-Bädern entwickeln und fixieren. Alle Filme verfügen über Feinkörnigkeit, geringen Entwicklungsschleier; eine Verwendung ohne Verstärkerfolien ist aber nicht möglich.

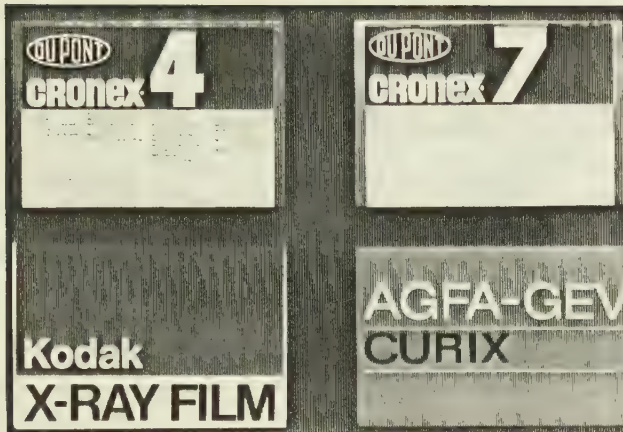


Abb. 5

Die vier bei der Testung verwendeten Röntgenfilme

3.7. Ermittlung der Werte der optischen Dichten an verschiedenen Bildpunkten

Die densitometrische Registrierung der Werte der optischen Dichte erfolgte an vier verschiedenen Punkten der 48 Orthopantomogramme, also an insgesamt 192 Punkten. Ausgewählt wurden im einzelnen folgende Punkte:

1. Hintergrundschwärzung (Punkt 1)
2. Interdentalraum (Punkt 2)
3. Apikaler Bereich (Punkt 3)
4. Kompakta-Spongiosa (Punkt 4)

Diese differenzierten Punkte wurden deshalb gewählt, weil ihnen in der klinischen Diagnostik besondere Bedeutung zukommt.

Die Lokalisation der vier Meßpunkte geht aus Abb. 6 hervor.

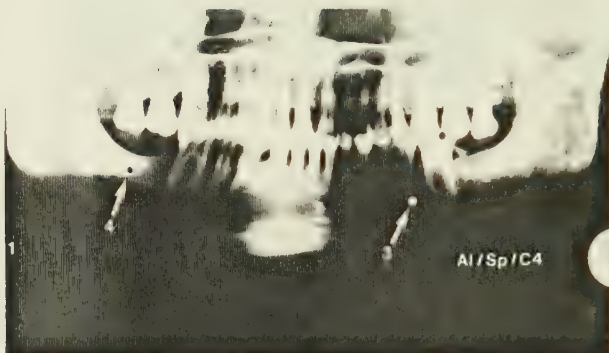


Abb. 6

Eines der 48 geprüften Orthopantomogramme mit den Prüfpunkt-Lokalisationen

3.8. Densitometrie mit dem Densitometer Macbeth 504

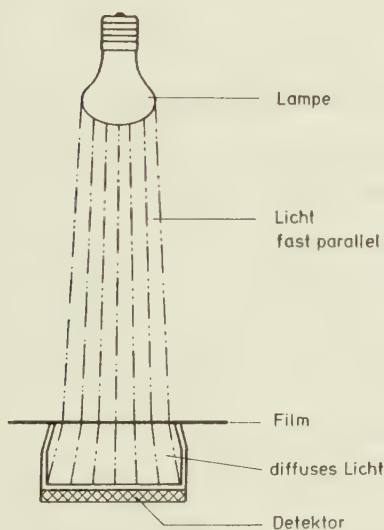
Alle 192 Werte der optischen Dichten wurden mit dem Densitometer 504 der britischen Firma Macbeth ermittelt.



Abb. 7a

Zu den Tests verwendetes Densitometer 504 der britischen Firma Macbeth

Es handelt sich dabei um ein Quantalog-Densitometer, das als Ausschlag-Instrument arbeitet (21), bei dem das Licht einer Lampe mit fast parallelem Strahlengang auf die Öffnung einer vor der Probe liegenden Blende fokussiert wird und ein Trübglass zum Auffangen des von der Probe durchgelassenen Lichtes dient. Das Trübglass befindet sich fast im Kontakt mit der Probe – im vorliegenden Fall dem Röntgenfilm – und innerhalb eines Meßtubus mit polierter Innenwand. Das an der Wand reflektierte Licht beleuchtet mit Hilfe zweier Linsen die Kathode eines Photoervielfachers. Der Meßbereich erstreckt sich von $D = 0$ bis $D = 400$. Über einen Detektor werden die Meßwerte an ein Anzeigeinstrument weitergegeben, das eine linear in Dichten geteilte Skala besitzt. Um diese Linearisierung zu erreichen, wird der Umstand benutzt, daß ein annähernd logarithmischer Zusammenhang zwischen der Dynodenspannung des Photoervielfachers und dem auffallenden Strahlungsfluß existiert, wenn der Anodenstrom konstant gehalten wird. Die Abbildung 7b zeigt das densitometrische Meßverfahren im Schema, die Abbildung 7c veranschaulicht den Meßvorgang am Röntgenfilm.



Messung der optischen Dichte

Abb. 7b

Prinzip der densitometrischen
Messung



Abb. 7c

Die densitometrische Meßung am Röntgenbild (Orthopantomogramm)

3.9. Kontrastermittlung

Die Kontrastwerte der einzelnen Röntgenbilder (Orthopantomogramme) wurden aus den Werten der optischen Dichten ermittelt. Da über den Kontrastbegriff derzeit unter Röntgenologen, Photographen und Physikern zum Teil abweichende Meinungen bestehen (1), wurde die augenblicklich am häufigsten zur Kontrastermittlung benutzte Formel angewandt:

Kontrast:

Verhältnis zweier
optischer Dichten

Berechnung:

$$\frac{\text{opt.Dichte 1} - \text{opt.Dichte 2}}{\text{opt.Dichte 1} + \text{opt.Dichte 2}}$$

Als optische-Dichte-Werte wurden der Hintergrund (optische Dichte 1) und der Interdentalraum (optische Dichte 2) mit ihrer Filmschwärzung verrechnet.

Zur Berechnung wurde ein elektronischer Kleinrechner der Firma electronic vom Typ privileg LC 2020 M verwendet.

Alle Werte der optischen Dichten und die sich ergebenden Kontrastwerte wurden in Diagrammen zusammengestellt und dadurch dokumentiert (Kapitel 4 : Ergebnisse).

4. Ergebnisse

4.1. Eignung der verwendeten Apparate und Verfahren

Untersuchungen von Werten der optischen Dichten und daraus ermittelten Kontrasten wurden bisher noch nicht mit einem Orthopantomographen vorgenommen. Das Testgerät Cranex dc 2 der finnischen Firma Soredex erwies sich als sehr gut geeignet. Es traten während des gesamten Röntgen-Aufnahmeverfahrens keinerlei Ausfälle oder Mängel auf.

Auch der verwendete Entwickler- und Fixierautomat 110 U der Firma Agfa Gevaert zeigte während des gesamten Testprogramms keine Mängel.

Die verwendeten Materialien (alle getesteten Filme, die Verstärkerfolien, die Kassetten und die Entwickler- und Fixiersubstanzen) waren fabrikneu.

Auch der zur Bestimmung der Werte der optischen Dichte verwendete densitometrische Automat 504 der Firma Macbeth wurde den gestellten Anforderungen voll gerecht.

4.2. Ermittlung der Werte der optischen Dichten

Die Werte wurden mit dem oben genannten Densitometer ermittelt und in vier Diagrammen graphisch dargestellt.

Bereits die Erstellung der Werte der optischen Dichten des Bildhintergrundes (Punkt 1= Hintergrund -Filmschwärzung) zeigte, daß bei den gewählten Testbedingungen (73 kV, 10 mA, 19 s Umlauf des Orthopantomographen) nur Werte zwischen 125 und 270 eine Filmschwärzung ergaben, die ein diagnostisch akzeptables Röntgenbild lieferten. Kombinationen, die höhere Werte der optischen Dichte aufwiesen, lieferten zu dunkle Bilder, Kombinationen unter 125 zu helle Aufnahmen.

Weiter zeigte sich, daß bei gleicher Kombination von Spezial-, NPU-, NPR- und Quanta III-Verstärkerfolien mit den vier getesteten Filmen der Einsatz von Kohlefaserkassetten zu einer Verstärkung der optischen Dichte führte.

An allen vier geprüften Punkten waren die Werte der optischen Dichte bei Verwendung von Kohlefaserkassetten um etwa zehn Prozent höher als bei den verglichenen Kassetten aus Aluminium.

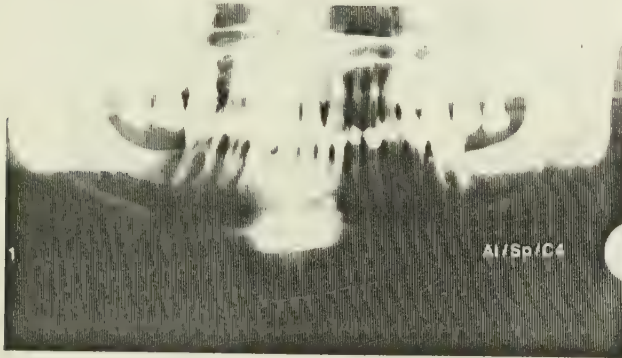


Abb. 8a

Orthopantomogramm mit markiertem Testpunkt 1 (Hintergrundschwärzung)

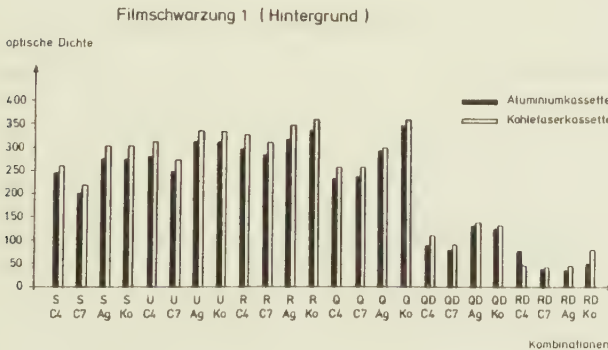


Abb. 8b

Diagramm der Werte der optischen Dichte am Filmhintergrund des OPG

Die Verwendung der Quanta-Detail- und Rego-Detail- Verstärkerfolien führte zu Röntgenbildern, die insgesamt so hell waren, daß sich diagnostischerseits keine Details differenzieren ließen.

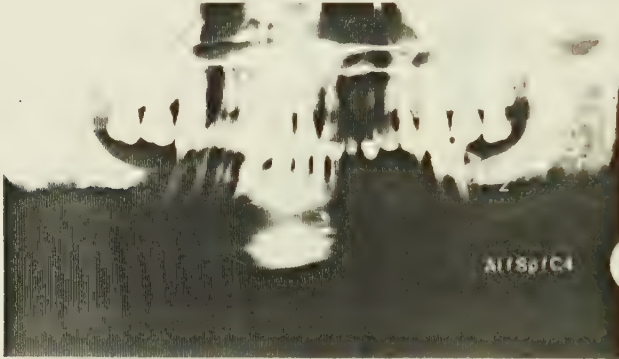


Abb. 9 a

Der markierte Testpunkt 2 (Interdentalraum) im Orthopantomogramm

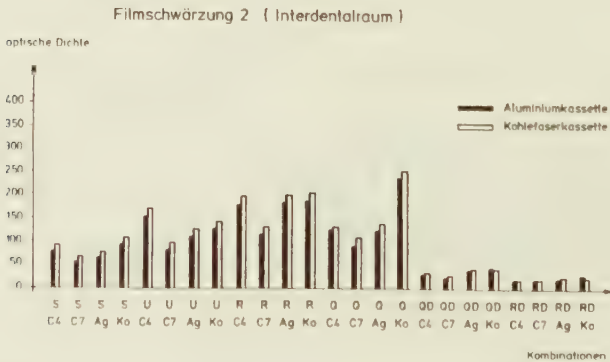


Abb. 9b

Diagramm der Werte der optischen Dichte im Interdentalraum auf dem OPG

Beim Vergleich der getesteten Filme ergab sich, daß die Cronex 7 - Filme bei der Mehrzahl der Kombinationen innerhalb der Verstärkerfoliengruppen die geringsten Werte der optischen Dichte aufwiesen.

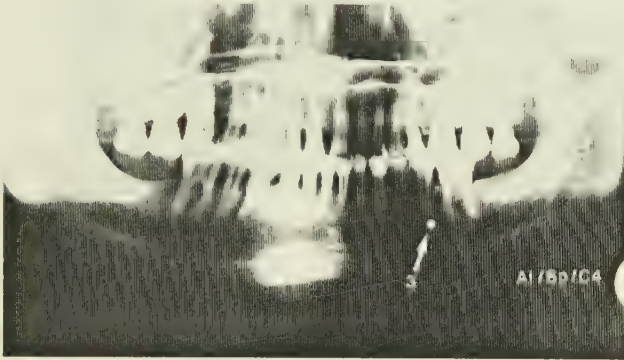


Abb. 10a
Orthopantomogramm mit markiertem Testpunkt 3 (Apikaler Bereich)

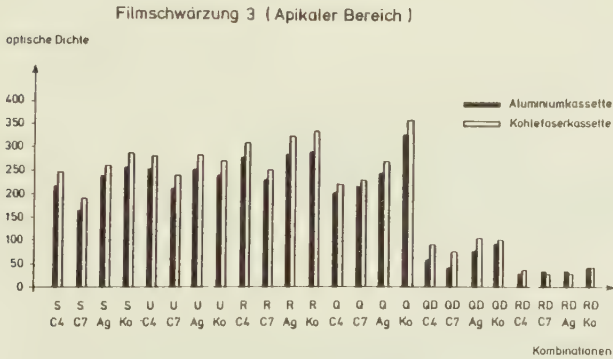


Abb. 10b
Diagramm der Werte optischer Dichte im apikalen Bereich des OPG



Abb. 11 a

Orthopantomogramm mit dem markierten Punkt 4 (Kompakta-Spongiosa)

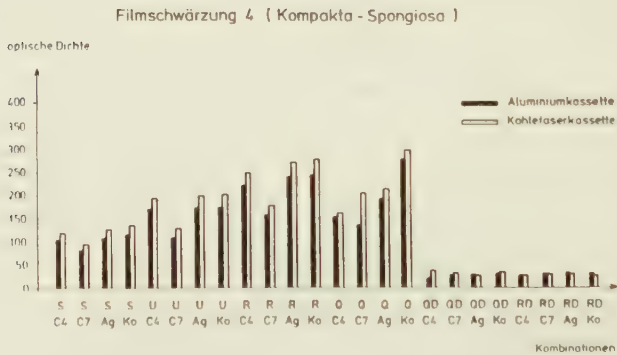


Abb. 11 b

Diagramm der Filmschwärzung (Kompakta-Spongiosa) des Orthopantomogramms

Die Werte der optischen Dichte bei Verwendung der Verstärkerfolien der Typen

NPR und Quanta III lieferten relativ dunkle Röntgenbilder; Versuche mit geringerer

Hochspannung bei der Anfertigung der Aufnahmen zeigten, daß dadurch eine optimale Filmschwärzung erreichbar ist. Eine ebenfalls befriedigende Bildhelligkeit konnte durch Dosiserhöhung bei Verwendung der Verstärkerfolien vom Detailtyp erzielt werden. Es wurden aber besonders bei der letztgenannten Möglichkeit keine weiteren Untersuchungen vorgenommen, da die Erhöhung der Dosis bei der Anfertigung von Röntgenaufnahmen nicht im Interesse der Untersuchung lag. Es kann also gefolgert werden, daß sich die Kombination mit Verstärkerfolien der Detail-Gruppe als unverwendbar erwies, um eine optimale Bildhelligkeit zustande zu bringen.

4.3. Kontrastwerte

Die mit dem Densitometer ermittelten Werte der optischen Dichte wurden miteinander verrechnet und es ergaben sich 48 Kontrastwerte, die zwischen 0,15 und 0,63 lagen.

Kombinationen, die einen diagnostisch guten Helligkeitsgehalt hatten, wiesen einen scharfen Bildkontrast zwischen Werten von 0,33 und 0,6 auf.

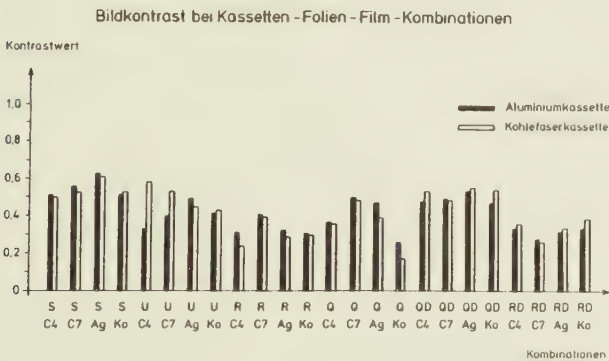


Abb. 12

Diagramm des Bildkontrastes bei den verwendeten Kassetten-Folien-Film-Kombinationen

Unter den zugrunde gelegten Versuchsbedingungen traf dies für die meisten Kombinationen mit Spezial-, NPU-, NPR- und Quanta III - Verstärkerfolien zu.

Für weitere dosisreduzierende Untersuchungen sind nur - dies hat der Test gezeigt - Verstärkerfolien vom NPR und Quanta III - Typ verwendbar.

5. Diskussion und Schlußfolgerungen

5.1. Bedeutung der Orthopantomographie unter dem Aspekt der erzielbaren Bildkontraste

Die Orthopantomographie ist ein Röntgendiagnoseverfahren, das seit drei Jahrzehnten erprobt ist, seit über zwei Jahrzehnten in die klinische Diagnostik eingeführt ist und sich seit einigen Jahren zunehmend in den zahnärztlichen Praxen wachsender Beliebtheit erfreut (13). Das Verfahren ermöglicht bei geringer Strahlenbelastung für Patient und Personal und geringem Bedienungsaufwand einen guten Überblick über das menschliche Unter- und Mittelgesicht (13,17). In der vorliegenden Studie wurde ein finnischer Orthopantomograph jüngster Bauart benutzt (Cranex dc 2, Firma Soredex 1984), der den derzeit letzten Stand moderner Gerätetechnik darstellt. Da sich Orthopantomographen vom Prinzip her aber kaum unterscheiden ist die Verwendung anderer Modelle durchaus möglich.

Alle Orthopantomographen arbeiten mit Kassetten-Verstärkerfolien-Röntgenfilm-Systemen. Die Bemühungen gehen dahin mit diesen Röntgengeräten best mögliche Aufnahmen zu machen, die neben einer optimalen Bildschwärzung möglichst gute Kontrastverhältnisse bieten. In der täglichen Praxis ist es nicht selten so, daß diese beiden Werte nicht optimal erreicht werden, weil ungünstige Kombinationen verwendet werden. Die vorliegende Studie ist die erste ihrer Art, die Kassetten-Folien-Film-Kombinationen bei der Orthopantomographie untersuchte. Sie ist deshalb schon von anderen Kombinationsuntersuchungen zu unterscheiden, weil es sich beim Orthopantomographen um ein Röntgengerät handelt, bei dem auf einer Umlaufbahn um den Kopf des Patienten kontinuierlich etwa 19 sec lang Röntgenstrahlung zur Belichtung des Films abgegeben wird. Es zeigte sich, daß auch bei der Orthopantomographie der richtigen Kombination von Kassetten, Verstärkerfolien und Röntgenfilmen große Bedeutung zukommt. Im Hinblick auf eine Dosisreduzierung durch Spannungsverminderung kann die Untersuchung als Beitrag zur Strahlensicherheit für Patient und Röntgenpersonal eingestuft werden.

5.2. Aluminiumkassette - Kohlefaserkassette

Im röntgenologischen Routinebetrieb kommen drei Kassettenarten zur Anwendung:

1. Aluminiumkassetten
2. Kohlefaserkassetten
3. Plastikkassetten

Da Plastikkassetten kein Gegenstand der Untersuchungen waren, beschränkt sich die Diskussion auf die beiden erst genannten. Die historisch ältere Kassettenart ist die aus focusnahe Aluminium und Stahlrückseite. Seit einigen Jahren werden focusnahe Kassettenplatten aus Kohlefasergewebe hergestellt. Dabei dient ein Gießharz als Matrix, auf die die Kohlepartikel aufgesprüht werden.

Bei einer Aluminiumschichtdicke von 1,3 mm Stärke reduziert sich die Strahlendosis nach JORDAN (12) um 12 bis 50 %, wenn sie durch ein Kohlefasermaterial ersetzt wird. Diese Erfahrungen wurden auch in der vorliegenden Studie bestätigt, wenngleich die Reduzierung der Strahlenbelastung - ermittelt über die intensivere Schwärzung (gezeigt durch die höheren Werte der optischen Dichte) - eher bei 10 bis 20 % als bei einer erreichbaren Halbierung lag .

Bemerkenswert beim Vergleich der beiden Kassettentypen ist weiterhin, daß die Kohlefaserkassette mechanischen Beanspruchungen wie Schlageinwirkung, Torsion und Biegung wesentlich besser genüge tut als die aus Aluminium, die leicht durch äußere Einwirkungen zu verletzen ist, was sich stets nachteilig auf die Bildqualität auswirkt, weil an eingestoßenen Stellen die Verstärkerfolie zu dicht an den Röntgenfilm gepreßt wird und dadurch auf dem Röntgenbild Artefakte entstehen, die zu diagnostischen Fehlschlüssen Anlaß geben können.

Eine Reihe von Orthopantomographen arbeitet derzeit mit gebogenen Kassetten. Es stehen leider noch keine Kohlefaserkassetten dieser Form zur Verfügung. Die Studie hat aber gezeigt, daß überall dort, wo zwischen Aluminium- und Kohlefaserkassette gewählt werden kann, aus den genannten Gründen letzterer der Vorzug zu geben ist.

5.3. Bedeutung der Verstärkerfolien aus Materialien der Gruppe der seltenen Erden

Die im Test verwendeten Detail- und Spezial-Verstärkerfolien waren mit der Leuchtsubstanz CaWO_4 beschichtet. Die drei anderen Folien trugen als Beschichtung Verbindungen aus seltene - Erden - Metallen wie Gadolinium, Europium, Lantan und Yttrium.

CaWO_4 findet nach einer Untersuchung von DEGENHARDT (6) zunehmend weniger Verwendung seit die Verstärkerfolien aus den Elementen der Gruppe der seltenen Erden sich durchzusetzen begannen. Sie emittieren sowohl blaues als auch grünes Licht (4, 5). Da alle im verwendeten Test benutzten Röntgenfilme blaulichtempfindlich waren, wurden selbstverständlich nur blauemittierende Verstärkerfolien verwendet.

Wie sich schon in früheren Studien (4, 5, 6) gezeigt hatte, bewies sich auch bei der vorliegenden Untersuchung, daß Yttriumoxisulfat als Röntgenleuchtstoff besonders bewährt war. Es zeigte sich weiter, daß der Dosisbedarf gegenüber den konventionellen Folientypen aus CaWO_4 wesentlich verringert werden konnte.

Während die Verwendung der Spezialfolie ausreichende Filmschwärzung ergab, waren sowohl die Detail-Verstärkerfolien von Quanta als auch Rego derart schwach verstärkt, daß das Röntgenbild eine solche Helligkeit aufwies, daß diagnostische Auswertmöglichkeiten nicht mehr möglich waren. Die einzige Möglichkeit diesen Mangel zu beheben, bestände darin, die Hochspannung am Gerät zu erhöhen, was zu einer erhöhten Strahlenbelastung für den Patienten führen würde. Aus diesem Grund sind die Detail-Verstärkerfolien heutzutage für die Orthopantomographie abzulehnen. Die NPR- und Quanta III -Folien erzielten unter den gegebenen Versuchsbedingungen hohe Werte der optischen Dichte, also zum Teil viel zu dunkle Bilder. Bei Verwendung dieser Folien ist

es möglich, die Spannung am Orthopantomographen zu vermindern, was sich günstig auf die Strahlenbelastung auswirkt.

5.4. Vergleich der Filme hinsichtlich ihrer Kontrastfähigkeit

Alle verwendeten Filme waren empfindlich auf blaues und ultraviolettes Licht. Die Polyesterfolie war bei ihnen leicht blau eingefärbt.

Röntgenfilme unterscheiden sich durch ihren Silbergehalt und die Körnigkeit in Empfindlichkeit und Kontrast. Die Filme Cronex 4, Agfa RP 1 und Kodak X - omat besaßen in etwa die gleiche Empfindlichkeit und waren hoch Kontrast gebend. Der Röntgenfilm Cronex 7 war weniger empfindlich und besaß nur ein mittleres Kontrastverhalten. Dafür verfügte er über einen sehr niedrigen Grundschleier und daher über ein besseres Signal - Rausch - Verhältnis.

In zahnärztlichen Praxen wird fast ausschließlich der Röntgenfilm Cronex 2 verwendet. Dieser konnte in der vorliegenden Studie aber nicht getestet werden, da er keinen Stabilisator besitzt und im verwendeten Entwickler- und Fixierautomaten Gevomatic 110 U bei einer Filmdurchlaufdauer von 90 sec nicht verarbeitbar war.

Hinsichtlich der Schwärzungs- und Kontrastverhältnisse zeigten die Filme untereinander kaum nennbare Abweichungen.

5.5. Bedeutung der optischen Dichte für den Bildkontrast

Die Werte der optischen Dichte stellen einerseits die Grundlage für die Ermittlung der Schwärzung des Röntgenfilms andererseits die Basis für die Kontrastermittlung dar. Zu bedenken ist aber, daß der Begriff des Kontrastes subjektiv und objektiv gebraucht wird (1). Für die objektive Bestimmung sind densitometrische Messungen unumgänglich (21), subjektiv wird es aber immer der Fall sein, daß Diagnostiker und Radiologen ein Röntgenbild häufig in seiner Bildhelligkeit als optimal unterschiedlich einschätzen (1).

Dasselbe trifft für den Röntgenkontrast zu.

Um diesen Tatsachen Rechnung zu tragen, wurde in der vorliegenden Untersuchung ausschließlich objektiven Kriterien der Vorzug gegeben. Dabei wurde die derzeit gebräuchlichste Formel für die Kontrastermittlung herangezogen (1):

$$\frac{\text{optische Dichte 1} - \text{optische Dichte 2}}{\text{optische Dichte 1} + \text{optische Dichte 2}}$$

Für die Ermittlung der Werte der optischen Dichte erwies sich das verwendete Densitometer als gut geeignet. Es wurde benutzt, weil bereits die Literatur (21) dieses Gerät als geeignet für Röntgenfilm-Dichtemessungen beschrieb.

5.6. Varianten und Einfluß des Signal-Rausch-Verhältnisses auf die Bildqualität

Als Rauschfaktor tritt das Quantenrauschen bei der Entstehung der Röntgenstrahlung immer auf, ist also als Störfaktor nicht auszuschalten. Ebenso ist das Filmrauschen, das beim Auftreffen der Röntgenstrahlung auf den Film entsteht, prinzipiell nicht zu verhindern. Körnung und Filmoberflächenstruktur beeinflussen diesen Rauschtyp aber in seiner Intensität. Folienrauschen tritt naturgemäß nur bei Verwendung von Verstärkerfolien auf. Auch hier ist es die Kristallstruktur neben der Oberflächenbeschaffenheit, die den Rauschfaktor bestimmt (14, 16).

Folge des entstehenden Rauschens ist stets eine Minderung der Bildschärfe, also eine Annäherung oder Verwischung der optischen Dichten zweier eng benachbarter Punkte. Während beim - allerdings sehr silberhaltigen - Zahnfilm ein Rauschen an Verstärkerfolie oder Kassette wegfällt, tritt dies bei der Orthopantomographie auf, weil hier Verstärkerfolien und Kassetten verwendet werden müssen. Die Folge davon ist, daß Detailstrukturen wie beispielsweise ein Desmodontalspalt oder eine interdentale Schwärzungsveränderung deutlicher hervortreten, als dies an einem Orthopantomogramm sichtbar gemacht werden kann.

Eine Reduzierung des Rauschens hat eine bessere Bildqualität zur Folge. Unter der Prämisse der möglichst minimalen Röntgenbestrahlung für den Patienten ist es aber notwendig, durch die Benutzung intensiv leuchtender Verstärkerfolien einen gewissen Mangel an Bildqualität (Kontrast) hinzunehmen. Dies wird durch KUHN (16) gewürdigt, wenn er darauf hinweist, das Rauschen nicht um jeden Preis zu reduzieren.

Quintessenz der Tests ist es, sowohl Strahlenbelastung für den Patienten, als auch ein möglichst optimales Bild in Bezug auf Helligkeit und Kontrast durch möglichst ideale Kombination von Kassette, Verstärkerfolie und Röntgenfilm zu erzielen. Dies gelang bei der Kombination vom NPR- und Quanta III-Verstärkerfolientyp mit den vier getesteten Filmen und der Kohlefaserkassette.

5.7. Differenzierung der möglichen Fehlerquellen und deren Einfluß auf die Meßergebnisse

Die Untersuchungen wurden unter annähernd identischen Bedingungen durchgeführt. Die 48 Testfilme wurden nacheinander belichtet, entwickelt und fixiert. Der qualitativen Minderung von Entwickler- und Fixierbad während dieses 48-maligen Durchlaufs kommt keine Bedeutung zu, da Hunderte von Filmen unter diesen Bedingungen verarbeitet werden können, ehe die Erneuerung der frisch angesetzten Flüssigkeiten notwendig wird. Auch die Abnutzung der Röntgenröhre während der 48 Aufnahmen kann vernachlässigt werden, da die Steh-Anodenröhre eines Orthopantomographen Tausende Röntgenabstrahlungen macht, bevor an ihr Verschleißerscheinungen feststellbar sind.

Zur Messung der optischen Dichten wurde für alle Röntgenfilme das gleiche Densitometer verwendet und die Messungen in einem Arbeitsgang durchgeführt. Abweichungen sind deshalb äußerst unwahrscheinlich. Die Ermittlungen des Kontrasts erfolgten zweifach mit einem Kleinrechner, wobei sich keine Abweichungen zeigten. Fehler sind daher ausgeschlossen.

Da alle verwendeten Filme, Verstärkerfolien, Kassetten und Substanzen fabrikanerneu getestet wurden, liegt die Fehlerquote unter den vorgenommenen Untersuchungsbedingungen bei nahezu null.

5.8. Günstige, durchschnittliche und unverwendbare Kassetten-Folien-Film-Kombinationen bezüglich Helligkeit und Bildkontrast

Wie bereits im Kapitel "4. Ergebnisse" und den einzelnen Unterpunkten der Diskussion bereits beschrieben, waren alle Filme im erzielbaren Bildkontrast gut. Der Kohlefaserkassette muß aufgrund der möglichen Dosisreduzierung und der günstigeren mechanischen Eigenschaften der Vorzug vor der Aluminiumkassette gegeben werden.

Als Verstärkerfolien für die Orthopantomographie unbrauchbar erwiesen sich die beiden getesteten Detail-Typen.

Als verwendbar zeigten sich die Spezial- und NPU-Verstärkerfolien.

Als sehr gut hinsichtlich der Dosisreduzierung erwiesen sich die NPR- und Quantita III-Verstärkerfolien.

Als wichtige Erkenntnis dieser Studie muß festgehalten werden, daß Helligkeit und Bildkontrast nie voneinander getrennt beurteilt werden können, weil rein densitometrisch viel zu helle oder zu dunkle Bilder, die sich aufgrund dieser Tatsache nicht mehr diagnostisch analysieren lassen, densitometrisch gute Kontrastergebnisse erzielen.

5.9. Ausblick auf weitere notwendige Forschungsverfahren

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es nicht nur, verschiedene in Praxis und Klinik übliche Kombinationen von Kassetten, Folien und Filmen bei der Orthopantomographie zu testen, sondern auf den Ergebnissen aufbauend bereits weitere interessante Forschungsaspekte aufzuzeigen. Dabei erscheint es sinnvoll, eine weiterführende Studie über die mögliche Dosisreduzierung bei Verwendung

von NPR- und Quanta III-Verstärkerfolien in Kohlefaserkassetten und den getesteten Filmen durch Spannungsreduzierung zu erproben.

6. Zusammenfassung

Von Oktober 1983 bis September 1984 wurden zwei Röntgenfilmkassetten aus verschiedenen Materialien, sechs Folien mit unterschiedlicher Verstärkerwirkung und vier in ihrer Empfindlichkeit voneinander abweichende Röntgenfilme miteinander kombiniert und mit Hilfe eines Phantoms von einem Orthopantomographen unter identischen Bedingungen mit Röntgenstrahlen belichtet.

Beim Röntgengerät handelte es sich um einen Orthopantomographen vom Typ Cranex dc 2, beim Phantommodell um einen, in Acrylharz eingebetteten, menschlichen Schädel.

Eine der getesteten Kassetten bestand aus Aluminium auf der focusnahen Seite, die andere aus gesprühter Kohlefaser. Untersucht wurden die Verstärkerfolien der Typen Spezial, NPU, NPR, Quanta Detail und Rego Detail.

Bei den verwendeten Filmen handelte es sich um die Typen Cronex 4, Cronex 7, Agfa RP 1 und Kodak X-omat.

Anschließend wurden die 48 so entstandenen Röntgenbilder densitometrisch an vier repräsentativen Punkten untersucht, und die jeweiligen Werte der optischen Dichte verglichen. Alle 192 Werte wurden mit dem Densitometer 504 Macbeth ermittelt. Gemessen wurden im einzelnen die Hintergrundschwärzung und die Werte der optischen Dichte im Interdentalraum, im apikalen Bereich und am Übergang von Kompakta und Spongiosa. Der Bildkontrast wurde aus den Dichtewerten errechnet. Alle ermittelten Werte wurden durch Säulendiagramme der schnelleren und besseren Übersicht wegen dargestellt.

Als Ergebnis der vorliegenden Untersuchung zeigte sich, daß der Orthopantomograph ebenso wie die verwendete Entwicklungs- und Fixiermethode der Röntgenfilme gut geeignet war. Auch das verwendete Densitometer genügte den gestellten Anforderungen.

Die mögliche Fehlerquote bei den Tests lag deshalb äußerst niedrig.

Im einzelnen konnte weiter festgestellt werden, daß es 16 Kombinationen gab, die zu keiner verwertbaren Bildhelligkeit führten und bei denen es zur Erreichung einer solchen notwendig wäre, mit höheren Spannungswerten, also größerer Strahlenbelastung für Patient und Personal, zu arbeiten. Es waren dies die Kombinationen mit Quanta Detail und Rego Detail Verstärkerfolien.

16 weitere Kombinationen erzielten bei den zugrunde gelegten Versuchsbedingungen diagnostisch verwertbare Bildhelligkeit bei brauchbarem Kontrast. Hier handelte es sich um Verstärkerfolien vom Spezial- und NPU-Typ.

Bei Verwendung von NPR- und Quanta III-Verstärkerfolien wurden die Bilder insgesamt zu dunkel und dadurch ebenfalls diagnostisch nicht verwertbar. Da hier aber die Möglichkeit gegeben ist, durch Spannungsverringerung und dadurch bedingte Dosisersparung optimale Bildhelligkeit zu erzielen, eröffnet sich ein Spektrum weiterer wissenschaftlich verfolgbarer und interessanter Untersuchungsmöglichkeiten und -notwendigkeiten.

Die Kohlefaser war während der Tests dem Aluminium als Kassettenmaterial überlegen, denn sie erwies sich als widerstandsfähiger und ermöglichte in Nebenversuchen bei Spannungsreduzierung gleiche Bildhelligkeit wie die Aluminiumkassette.

Die vier untersuchten Filme erwiesen sich trotz unterschiedlicher Empfindlichkeit als insgesamt gut geeignet für die orthopantomographische Röntgendiagnostik.

Während sich also eine Reihe von Kombinationen als unbrauchbar erwies, gab es keine einzelne ideale Zusammenstellung einer Verstärkerfolie, eines Röntgenfilms und einer Kassette.

Bedeutung kam bei den Untersuchungen auch dem Signal-Rausch-Verhältnis zu, das stets als Störfaktor und Ursache für die Beeinträchtigung der Bildqualität bezüglich Schärfe und Kontrast anzusehen ist. Zwar führt geringes Rauschen

zu kontrastreicheren Bildern, gleichzeitig geht es aber mit einer höheren Strahlenbelastung einher.

Ziel einer Kombination muß also immer der möglichst günstigste Kompromiß von optimaler Bildhelligkeit mit diagnostisch gut verwertbaren Kontrastwerten bei möglichst geringer Strahlenbelastung sein.

Literaturverzeichnis

1. BIEDERMANN, K.
BORCKE, E.
BUCHMANN, F.
FRIESER, H.
MUNKER, H.
SCHOBBER, H.
SCHOTT, O.
STIEVE, F. E.
WIDENMANN, L.

Über Kontrastbegriffe in der Radiologie und ihre Definitionen. Röntgen-BI. 20, 131 (1967)
2. BRANDT, G.
PREUSS, H. J.
MENZEL, B.

Untersuchungen zum Einfluß der Verstärkerfolien auf den Kontrast der Röntgenaufnahmen. Radiol. diagn. 2, 251 (1980)
3. DEGENHARDT, H.
KUHN, H.
PFEILER, M.

Dosisersparung und Abbildungs-
güte bei Film-Foliensystemen.
Röntgenpraxis 28, 271 (1975)
4. DEGENHARDT, H.

Zur Verwendung von Seltene-Er-
den-Leuchtstoffen in feinzeich-
nenden Verstärkerfolien. Electro-
medica 48, 76 (1980)
5. DEGENHARDT, H.

Filmuniverselle Verstärkerfolien
mit Zweibanden-Leuchtstoff Ti-
tan 2. Electromedica 49, 154 (1981)
6. DEGENHARDT, H.

Die historische Entwicklung der
Leuchtsubstanzen und deren An-
wendung in der Röntgentechnik.
Electromedica 51, 155 (1983)
7. FREYENSCHMIDT, J.

Zu modernen Film-Folien-Systemen
aus seltenen Erden in der klinischen
Radiologie. Röntgenpraxis 34, 227
(1981)

8. FRIESER, H.
FINDEIS, G.

Messung der mittleren Schwärzungsschwankung und des Schwankungsspektrums photographischer Schichten. Photographische Korrespondenz 101, 85 (1965)
9. HAGEMANN, G.
TÖLLNER, D.
SAURE, D.
FREYENSCHMIDT, J.

Neue Verstärkerfolien in der klinischen Radiologie. I. Mitteilung: Experimentelle Untersuchungen. Fortschr. Röntgenstr. 124, 483 (1976)
10. HARTMANN, E.

Physiologisch-optische Gesetzmäßigkeit bei der Betrachtung von Röntgenbildern vor dem Lichtkasten. In: Bildgüte in der Radiologie, herausgeg. von F.E. Stieve. Gustav Fischer Verlag Stuttgart 1966
11. HOESCHEN, D.
MIRANDE, W.

Mesurement of Wiener Spectra with a Linear Microdensitometer. Photographic Science and Engineering 24, 259 (1980)
12. JORDAN, D.A.

Graphite: wonder material for radiology? Applied Radiology 9, 1 (1980)
13. JUNG, T.

Panorama-Röntgenographie. Dr. Alfred Hüthig Verlag Heidelberg 1984
14. KNEDEL, H.
WEBERLING, R.
HAGEMANN, G.

Signal-Rausch-Verhältnis, Auflösung und Dosisbedarf zum Qualitätsvergleich neuer Verstärkerfolien in der klinischen Radiologie. Röntgenpraxis 34 (1981)

15. KRAFT,A.
NAHRSTEDT,U.
WIDENMANN,L.
Untersuchungen an neuartigen Verstärkerfolien für die Röntgendiagnostik.Röntgenpraxis 28, 264 (1975)
16. KUHN,H.
Bildrauschen bei Film-Folien-Systemen:seine Ursachen und Komponenten.Electromedica 51, 46 (1983)
17. PASLER,A.F.
Zahnärztliche Radiologie.Georg Thieme Verlag Stuttgart-New-York 1981
18. ROSSMAN,K.
LUBBERTS,G.
Some characteristics of the line spread-function and modulation transfer-function of medical radiographic films and screen-film systems.Radiology 86, 235 (1966)
19. SCHÖBER,H.
Allgemeine physiologische Grundregeln für die Detailwahrnehmung im Röntgenbild. In: Bildgüte in der Radiologie, herausgeg.von F.E.Stieve, Gustav Fischer Verlag Stuttgart 1966
20. SPIEGLER,G.
Physikalische Grundlagen der Röntgendiagnostik.Georg Thieme Verlag Stuttgart 1957
21. VIETH,G.
Meßverfahren der Photographie.Oltenburg Verlag München 1974
22. WOLF,M.
ANGERSTEIN,W.
Das Leistungsspektrum des Bildrauschens,seine Bedeutung für die Güte von Röntgenbildern und seine digitale Messung.J.Signal Am.7, 421 (1979)

23. WOLF,M.

Der Einfluß des Rauschens im Röntgenbild auf die Abbildungsgüte und seine Messung.Radiol.diagn. 20, 479 (1979)

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof.Dr.Dr.H.Grasier für die freundliche Überlassung des Themas danken.

Weiterhin danke ich Herrn Dr.Dr.H.-H.Barth für seine Unterstützung bei der Erarbeitung des Konzepts der vorliegenden Dissertationsschrift und der Auswertung der Ergebnisse, sowie der Zusammenstellung der Arbeit.

Herrn Dipl.-Ing. W.Nicolai danke ich für die Überlassung des bei den Tests verwendeten Schädelphantoms, Herrn Dipl.-Phys. .Panzer für die Möglichkeit der densitometrischen Messungen und seine Unterstützung dabei.

Lebenslauf

- 1.5.1950 Geburt in Wiederlitzsch/Leipzig
- 1956 - 60 Volksschulbesuch in Augsburg und Frankfurt/Main
- 1960 - 69 Gymnasium in Frankfurt und Augsburg bis zum Abitur am 28.6.69
Immatrikulation für Physik an der Universität München
- 1971 Wechsel zum Studium der Humanmedizin in München
- 1977 Ablegung des amerikanischen ECFMG-Examins
- 1977/78 Praktisches Jahr in der II.Universitätsfrauenklinik München, der
chirurgischen Poliklinik München und im Westkrankenhaus Augsburg
- Mai 1978 Staatsexamen und Approbation in Medizin
- 1.6.1978 Assistent an der Chirurgischen Klinik Dr.Rinecker, München
- 1.11.1978 Truppenarzt bei der Bundeswehr
- 7.11.1978 Medizinische Promotion
- 1.2.1980 Wiedereintritt in die Klinik Dr.Rinecker
- ab 1.5.1980 Student der Zahnmedizin in München
- April 1984 Staatsexamen und Approbation der Zahnheilkunde in München

